

## Evaluación de confort visual en escenas con iluminación natural directa

*Julieta A. Yamin G.<sup>1</sup>, Elisa M. Colombo<sup>2</sup>, Roberto G. Rodríguez<sup>3</sup>, Andrea E. Pattini<sup>4</sup>*

### Resumen

En regiones con clima árido y elevado número de días con cielo claro resulta muy ventajoso iluminar los espacios interiores con luz natural, logrando ahorros energéticos y beneficios en los usuarios. Para ello es necesario un adecuado análisis y control de la luz solar. En este trabajo se evaluaron 15 oficinas que presentan manchas de sol en el área de trabajo. Estas oficinas se evaluaron a través de métricas subjetivas y objetivas: nivel de iluminancia, relaciones de luminancia, riesgo de deslumbramiento, uniformidad, entre otras, tomándose como referencia las medidas subjetivas. Los resultados mostraron que de las 8 métricas evaluadas, sólo cuatro presentaron correlaciones moderadas  $r > 0.5$  con la sensación de los usuarios, la iluminancia vertical al ojo, análisis de luminancias en campo de visión cercana y valores de uniformidad utilizadas en conjunto son una herramienta más descriptiva de las escenas con luz natural. En este sentido, este estudio indica que es recomendable utilizar más de una métrica en escenas con luz natural, profundizando el análisis de imágenes HDR, cuyo poder de diagnóstico es aún poco aprovechado.

**Palabras claves:** confort visual, deslumbramiento, iluminación natural.

---

<sup>1, 3 y 4</sup> . INCIHUSA- CCT-CONICET Mendoza. Avenida Ruiz Leal s/n Parque Gral. San Martín. Mendoza – Argentina. CP 5500. Tel: +54 (261) 524-4322. E-mail: [jyamin@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:jyamin@mendoza-conicet.gob.ar).

<sup>2</sup> Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán. CCT-CONICET-Tucumán. Argentina. Av. Independencia 1800, Tucumán – Argentina, CP 4000 Tel - Fax: +54 - 0381 – 4361936. E-mail: [ecolombo@herrera.unt.edu.ar](mailto:ecolombo@herrera.unt.edu.ar).

## Visual comfort evaluation in presence of direct daylight in office

### Abstract

In regions with arid climate and many clear-sky days it is very advantageous to illuminate the interior spaces with daylight, achieving energy savings and benefits for users. It is therefore necessary an adequate analysis and sunlight control. A total of 15 offices with sunspots over the work space were evaluated. These offices were evaluated through objective and subjective metrics developed to assess daylight spaces: level of illuminance, luminance ratios, risk of glare, uniformity, among others, taking as reference values subjective data. The results showed that of the 8 metric evaluated, only four showed moderate correlations  $r > 0,5$  with users perception. Vertical illuminance at eye, luminance analysis in the near field of view and uniformity values were a more descriptive tool in daylight scenes used together. In this way, this study suggests that it is suitable the use of more than one metric in daylight scenes, deepening in the HDR-image analysis, whose diagnostic power is still an underdeveloped area.

**Keywords:** visual comfort, glare, daylighting.

### Introducción

En las zonas geográficas con clima árido donde predominan los cielos claros, como el caso de la provincia de Mendoza, hay una gran disponibilidad de luz natural. En estas zonas se registran valores de iluminancia horizontal global muy elevados (Eh global directa: 120000lx; Eh global difusa: 60000) (Pattini, 2007). Esta enorme disponibilidad de luz natural tiene aplicaciones directas sobre el bienestar de las personas, siempre y cuando esté acompañada de un adecuado control solar. Una correcta iluminación de los espacios con luz natural contribuye en la regulación del sistema circadiano (Webb, 2006). También se ha asociado a la luz natural con mejoras en el humor, la productividad y la satisfacción de los usuarios (Galasiu & Veitch, 2006). Sin embargo, dada la gran variabilidad de la luz solar, para lograr estos beneficios en los usuarios es necesario un adecuado control de la luz solar.

El análisis de la dinámica de la luz natural apunta entre otras cosas a lograr el confort visual. La Comisión Internacional de iluminación (CIE) sostiene que el confort visual está asociado al control de distribución de luminancias, iluminancias, deslumbramiento, direccionalidad de la luz, aspecto del color de la luz y superficies, parpadeos (CIE S 008/E, 2000). Por otra parte, Carlucci et al. afirman que los índices de confort visual estudian la relación entre las necesidades humanas y el ambiente lumínico y propone una clasificación de los mismos en cuatro grandes categorías: a) cantidades de luz, b) uniformidad de la luz, c) deslumbramiento y d) calidad de la luz. Dentro de estas cuatro categorías, los índices pueden a su vez funcionar para iluminación natural o artificial. Siguiendo su clasificación (Carlucci, Causone, De Rosa, & Pagliano, 2015), algunos de los índices para funcionar con iluminación natural son:

Cantidades de luz: los valores de iluminancia son muy utilizados por su simplicidad, sin embargo, las recomendaciones pueden ser muy diferentes. Algunos estudios sugieren que los valores de iluminancias para las personas que trabajan en PVD (más del 70% de tu tiempo laboral) van desde 100lx a 300lx (Escuyer & Fontoynt, 2001), otros estudios superan ampliamente este valor, llegando

a recomendar valores de hasta 3000lx (Van Den Wymelenberg, Inanici, & Johnson, 2010) según el contexto y la tarea visual.

**Deslumbramiento:** Es uno de los factores que requieren mayor control a la hora de iluminar con luz natural. Existen múltiples modelos para evaluar el deslumbramiento. Para luz natural los modelos más validados son el DGI (Hopkinson, 1971) y DGP (Wienold & Christoffersen, 2006). El DGI funciona en presencia de luz difusa observable a través de la ventana. Sin embargo, como no fue desarrollado bajo condiciones de iluminación natural en espacios reales, no es confiable cuando ingresa luz solar directa en la habitación. El DGP es el modelo que mejor predice situaciones con ingreso luz solar directa (Jakubiec & Reinhart, 2012; Yamin, Rodriguez, Ruiz, & Pattini, 2014). La base de este modelo es comparar áreas de alta luminancia con respecto a la iluminancia vertical que llega al ojo. El deslumbramiento no depende solamente de valores absolutos de luminancia, sino también de valores relativos y contraste, usualmente expresado como relaciones de luminancias. La relación de luminancias entre la fuente y la tarea recomendada por la IESNA es de 20:1 (DiLaura, Houser, Mistrick, & Steffy, 2010), sin embargo, hay una falta de especificación de como calcular estos datos (Van Den Wymelenberg & Inanici, 2014).

**Uniformidad:** Es la relación entre el valor mínimo de iluminancia en el plano de trabajo y la iluminancia máxima o el promedio de iluminancias en el mismo plano. Muchos autores recomiendan altos niveles de uniformidad evitando filtraciones de sol sobre puestos de trabajo o sobre el campo visual de los ocupantes en pos de alcanzar su confort visual (Boyce, Hunter, & Howlett, 2003; Galasiu & Veitch, 2006; Lim & Kim, 2010). Sin embargo, numerosos estudios muestran que hay presencia de luz solar directa no controlada en las oficinas. Esta luz directa puede ingresar en las habitaciones en forma de manchas dinámicas, las cuales producen relaciones de iluminancia que están lejos de los niveles recomendado (Parpairi, Baker, Steemers, & Compagnon, 2002). La presencia de luz directa producto de la falta de regulación de los dispositivos (Foster & Oreszczyn, 2001; Van Den Wymelenberg, 2012) está asociada a diferentes causas, una de ellas es que los ocupantes fijan sus persianas según las ganancias térmicas y lumínicas a largo plazo; y no por los cambios de la condición de cielo en un día (Zhang & Barrett, 2012). Otra causa está relacionada al efecto placentero que produce el ingreso de luz natural, según estudios de preferencias en donde los participantes eligieron el ingreso de luz directa en su oficina (Boubekri & Boyer, 1992; Van Den Wymelenberg et al., 2010).

Es importante mencionar que existe una falta de consenso por la comunidad científica sobre qué métrica utilizar y con qué criterio aplicarla, especialmente, en espacios con ingreso de luz solar directa. Esta falta de consenso es debido a las inconsistencias en los estudios de confort visual que dan soporte a estas recomendaciones (Van Den Wymelenberg et al., 2010). Por este motivo, en escenas complejas con luz natural, las métricas existentes muchas veces no se corresponden con la sensación de los usuarios. Esto nos conduce a plantear la hipótesis de que los factores actuales de confort visual no contemplan adecuadamente las particularidades de la iluminación natural en climas soleados como fuente principal de iluminación de espacios de trabajo.

En este trabajo se aplicaran índices de confort visual (iluminancias, uniformidad, deslumbramiento) en espacios de trabajo en presencia de luz solar directa. Con el objetivo de evaluar y comparar estas métricas tomando como valor de referencia las respuestas subjetivas de los usuarios y así conocer cuál es la métrica que mejor se ajusta a la respuesta de las personas.

## Metodología

**Caso de estudio:** Se seleccionaron 15 oficinas con ingreso de luz solar directa en el puesto de trabajo. Las oficinas se encuentran emplazadas en el centro científico tecnológico CCT-Mendoza, en planta alta orientadas al este (Figura 1). La dimensión de las oficinas es de 4,62x2,32m, con una abertura de 1,56x1,8m compuesta de tres paños (Figura 3). El elemento de control solar común a todas las oficinas son parasoles horizontales exteriores móviles (Figura 2) y el elemento de control solar que varía en cada oficina son cortinas ubicadas en el paño 1, colocadas por los ocupantes en busca de confort visual. Éstas pueden ser cortinas de tela o mimbre.

**Participantes:** Los participantes fueron 4 hombres y 11 mujeres pertenecientes a las 15 oficinas relevadas de entre 25 y 50 años de edad. El relevamiento tomó 4 días, las oficinas fueron evaluadas entre las 9 y 10:30 de la mañana en el mes de marzo de 2015. Cada participante debía trabajar con su Pantalla de Visualización de Datos (PVD), realizando sus tareas habituales, se le proporcionó un cuestionario y posteriormente se tomaron las medidas fotométricas.

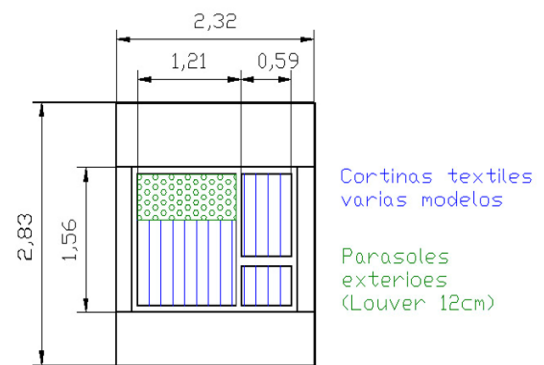
**Figura 1.** Ubicación de las oficinas en el predio.



**Figura 2.** Fachada de las oficinas.



**Figura 3.** Vista interior de las ventanas.



Fuente: Figura realizada por el autor

## Medidas subjetivas

La evaluación subjetiva de confort visual se realizó mediante una encuesta que consta de diferenciales semánticos y preguntas de múltiple opción. La encuesta se compone de 5 preguntas:

**Cantidad de luz:** La pregunta Q1 hace referencia a la intensidad percibida de la mancha y Q2 a qué asocia dicha intensidad. Ambas son diferenciales semánticos de cinco puntos.

Q1 ¿Qué intensidad tienen las manchas de luz? *Demasiada baja / demasiado alta*

Q2 ¿Cuál es la valoración de su entorno luminoso? *Poco satisfactorio / muy satisfactorio*

**Uniformidad:** La pregunta Q3 tiene por objetivo asegurarnos de que las personas son conscientes de la presencia de manchas de luz sobre su puesto de trabajo y de la falta de uniformidad.

Q3 ¿Qué factores influyen en la valoración de su entorno luminoso? *1-manchas de sol 2- poca iluminación 3-sombras 4-falta de uniformidad*

**Deslumbramiento:** La pregunta Q4 mide el nivel de deslumbramiento percibido, esta se midió con la escala GSV (Glare Sensation Vote) (Iwata & Tokura, 1997). Esta escala fue presentada a los participantes mediante una escala ordinal de 4 puntos: 1- imperceptible, 2- aceptable, 3- perturbador y 4- intolerable. La definición de cada punto de la escala fue presentada a los participantes. Cada categoría de deslumbramiento está asociada al periodo de tiempo aproximado en que el sujeto puede tolerar el deslumbramiento.

Q4 ¿Qué grado de deslumbramiento experimentó al leer en la pantalla?

**Espacialidad:** Q5 hace referencia a la espacialidad percibida de la mancha.

Q5 ¿Qué ubicación tienen las manchas de luz? *Lejos de la tarea / cerca de la tarea*

### **Medidas objetivas**

**Iluminancias:** Medición al inicio de la tarea de iluminancia horizontal del plano de trabajo (tres puntos de medición) e iluminancia vertical a nivel del ojo (un punto de medición). Esta última es la medida fotométrica que mejor correlaciona con predicción de deslumbramiento (Wienold, 2009). Se midió con un luxímetro con sensor de iluminancia marca LMT con rango de 0,1 a 120000 lux con corrector de coseno y filtro v de lambda.

**Uniformidad de iluminancias:** Para calcular la media en el plano de trabajo y la uniformidad de iluminancias, se midió la iluminancia horizontal en el plano de trabajo a partir de 3 puntos de medición mediante la siguiente fórmula (Slater & Boyce). Es importante destacar que muchos autores sostienen que este criterio no es apropiado para interiores iluminados con ventanas, donde la tolerancia a la uniformidad puede ser mayor que con la luz artificial.

$$E_{\min} / E_{\max} = >0,5 < 0,7 \quad (1)$$

Dónde:  $E_{\min}$  iluminancia mínima en el plano de trabajo,  $E_{\max}$  iluminancia máxima en el plano de trabajo

**Deslumbramiento:** El primer paso para calcular el deslumbramiento fue generar mapeos de luminancia a partir de imágenes fotográficas de alto rango dinámico HDR. Estas HDR se componen a partir de 8 imágenes fotográficas de bajo rango dinámico LDR tomadas con una cámara "Nikon Coolpix 5400" con lente ojo de pez "Nikon FC-E9". Cada LDR se tomó posicionando la cámara en el lugar de los sujetos, a la altura y posición de sus ojos; variando la velocidad de obturación para obtener un conjunto de imágenes con distinta exposición a la luz. Las 8 LDR fueron procesadas en "Photosphere" para obtener la HDR. Para que la información almacenada en las imágenes HDR se corresponda con los valores físicos de luminancia del mundo real, estas fueron calibradas con un luminancímetro "Minolta LS100". El porcentaje de error del método HDR es menor a un 10% (Inanici, 2006). El segundo paso para calcular el deslumbramiento a partir de las imágenes HDR es con el programa Evalglare de Radiance (Wienold & Christoffersen, 2006). Se parte de la detección de la fuente de deslumbramiento. Este paso es de gran importancia ya que el nivel de deslumbramiento dependerá en gran medida de cómo fueron computados los píxeles de la imagen. Se eligió el umbral de detección en relación a la tarea.

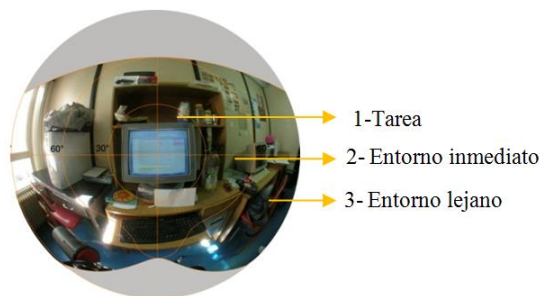
**Tabla 1.** Relación entre DGP y GSV

| GSV | Imperceptible | Notable     | Perturbador | Intolerable |
|-----|---------------|-------------|-------------|-------------|
| DGP | <0,30         | 0,30 – 0,35 | 0,35– 0,45  | >0,45       |

**Análisis de luminancias:** Mediante el software HDRscope (Kumaragurubaran & Inanici, 2013), se calculó la distribución de luminancias de la escena. En este estudio se realizaron dos análisis de luminancias: 1- Relaciones de luminancia: Cálculo de la luminancia media de la fuente en relación a la luminancia media de la tarea: Relaciones entre la tarea visual y el entorno inmediato 1:3 y superficies cercanas 1:10 entorno lejano 1:20. (Figura 5). 2- Evaluación según criterio: Cálculo del porcentaje de píxeles de la región seleccionada que sean mayores a 2000cd/m<sup>2</sup>. Las regiones seleccionadas fueron 2- Entorno inmediato y 3- Entorno lejano (Figura 5).

**Espacialidad:** Se determinó el lugar que ocupan las manchas en el campo de visión del observador a través de una máscara que divide la escena en 3 (Figura 5).

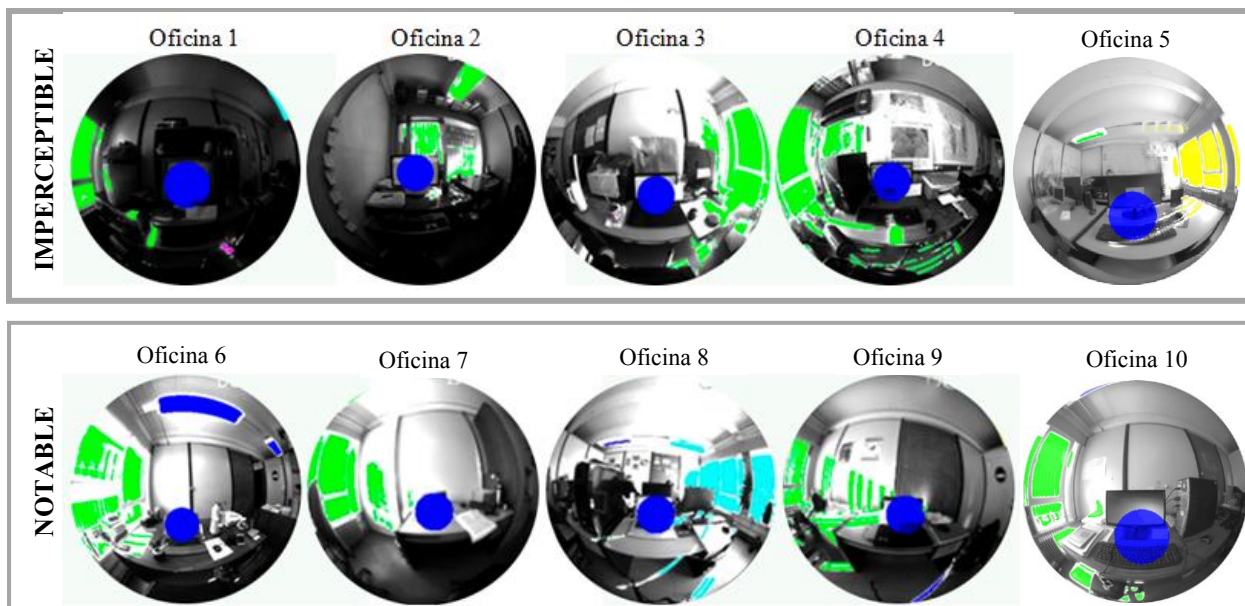
**Figura 5.** Área de visión



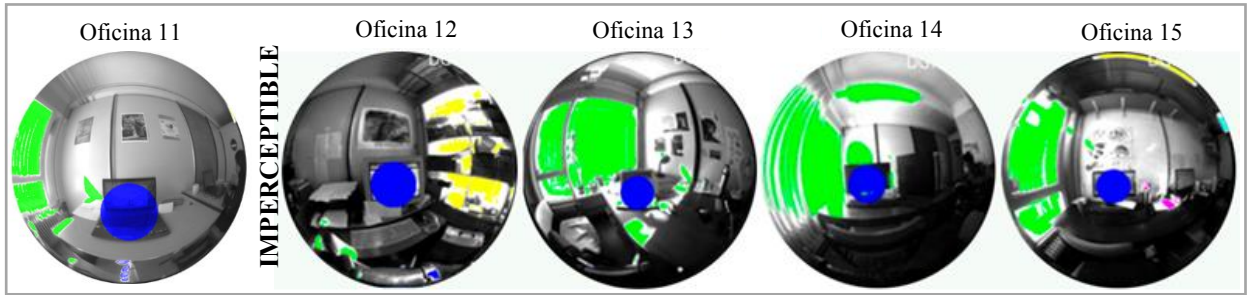
## Resultados

Las 15 oficinas fueron clasificadas según la escala GSV (percepción de deslumbramiento real de los usuarios) en escenarios definidos como: imperceptible, notable y perturbador, esta clasificación se mantiene en todo el análisis de los resultados.

**Figura 6.** HDR de las 15 oficinas según de GSV







*Intensidad y espacialidad:* La tabla 2 muestra valores de intensidad y espacialidad percibida por los participantes, la obtenida de mediciones fotométricas y su relación (Pearson).

**Tabla 2.** Medidas fotométricas y de respuestas subjetivas. Ev: iluminancia vertical, Eh: Iluminancia horizontal sobre el puesto de trabajo, DE: desviación estándar, I: imperceptible, N: notable, P: perturbador.

| Oficinas |    | Subjetivo | Objetivos |         |          | Subjetivo | Objetivo |
|----------|----|-----------|-----------|---------|----------|-----------|----------|
|          |    | Q1        | Ev        | Eh      | DE       | Q5        | zonas    |
| I        | 1  | 1         | 300       | 1547    | 2125,88  | 3         | 3        |
|          | 2  | 1         | 400       | 329,33  | 68,85    | 4         | 2        |
|          | 3  | 4         | 750       | 2328,01 | 3249,68  | 2         | 3        |
|          | 4  | 3         | 800       | 6371,67 | 10073,35 | 4         | 3        |
|          | 5  | 2         | 850       | 800,21  | 100      | 5         | 1        |
| N        | 6  | 4         | 1100      | 5800,00 | 8662,56  | 2         | 2        |
|          | 7  | 3         | 900       | 296,67  | 105,03   | 4         | 2        |
|          | 8  | 5         | 850       | 4290,00 | 6245,10  | 5         | 1        |
|          | 9  | 3         | 1150      | 8040,33 | 13060,62 | 3         | 1        |
|          | 10 | 4         | 840       | 9580,50 | 16241,5  | 3         | 2        |
|          | 11 | 3         | 920       | 858,00  | 52,3     | 3         | 2        |
| P        | 12 | 5         | 850       | 7700,00 | 11821,48 | 4         | 2        |
|          | 13 | 4         | 725       | 523,33  | 87,36    | 4         | 1        |
|          | 14 | 5         | 850       | 375,00  | 139,19   | 5         | 1        |
|          | 15 | 5         | 900       | 637,00  | 508,53   | 3         | 2        |

Los valores de intensidad de la luz muestran que, por un lado, respecto a los valores de iluminancia horizontal en el plano de trabajo, estos valores fueron muy variados  $SD=5695,56$ , y según el criterio de evaluación que seleccionemos, podemos decir que todas las oficinas estuvieron por encima de los valores de iluminancia horizontal recomendados según el criterio de Mardaljevich (100 a 300lx) o bien que todas estuvieron dentro del rango de luminancia tolerables (3000lx) tomando el criterio de Wymelemborg. Por otro lado, la correlación entre Q1 y Ev fue elevada y significativa ( $r=0,591$ ,  $p=0,02$ ), mientras que la correlación entre Q1 y Eh fue muy baja y no significativa ( $r=0,262$ ,  $p=0,345$ ). Es importante destacar que en las oficinas 7, 9 y 14 las manchas se encontraban principalmente en el plano vertical. De los valores de correlación podemos decir que los valores de iluminancias son una métrica sencilla, de fácil obtención y lectura. Respecto a la Eh, se debería haber complementado con valores de iluminancia vertical en la pared para tener una medida más representativa de la escena. Respecto a la Ev, esta fue una medida mucho más descriptiva de la escena.

Los valores de espacialidad muestran que existe una correlación moderada y significativa con la percepción de la misma por parte de los usuarios ( $r=-0,56$ ,  $p=0,028$ ), indicando que el lugar que ocupa la mancha dentro del campo de visión afecta efectivamente la percepción lumínica de los participantes.

Uniformidad: Respecto a los valores de uniformidad percibidos por la personas, casi todas las oficinas fueron consideradas como no uniformes, excepto las oficinas 1, 2, 5 y 6. Respecto al cálculo de uniformidad casi todas las oficinas fueron menores a 0,5, es decir fueron no uniformes excepto la oficina 2, 5, 11 y 13 con valores de uniformidad de 0,7, 0,65 y 0,78. El porcentaje de acierto entre la uniformidad percibida y calculada fue alta (75%). Esto indica que la percepción de uniformidad coincide efectivamente con su cálculo.

Deslumbramiento: La tabla 3 muestra el deslumbramiento percibido y calculado por las diferentes métricas

**Tabla 3.** RL\_L - RL\_I: (relación de luminancias en el entorno lejano - inmediato), %\_L - %\_I: (porcentaje de pixeles mayores a 2000 cd/m<sup>2</sup> en el entorno lejano - inmediato).

|    | GSV | DGP  | DGP(GSV) | RL_L   | RL_I  | %_L  | %_I   |
|----|-----|------|----------|--------|-------|------|-------|
| 1  | 1   | 18   | 1        | 145,89 | 6,04  | 0,48 | 0,7   |
| 2  | 1   | 18   | 1        | 21,54  | 4,01  | 0,17 | 0,39  |
| 3  | 1   | 23   | 1        | 172,11 | 46,22 | 0,81 | 3,03  |
| 4  | 1   | 21   | 1        | 158,87 | 8,34  | 0,6  | 5,07  |
| 5  | 1   | 22   | 1        | 62,09  | 6,59  | 0,5  | 5,08  |
| 6  | 2   | 26   | 1        | 69,54  | 3,4   | 1,11 | 4,13  |
| 7  | 2   | 21   | 1        | 41,52  | 1,71  | 0,44 | 3,16  |
| 8  | 2   | 22   | 1        | 69,13  | 1,71  | 0,34 | 3,64  |
| 9  | 2   | 23   | 1        | 116,34 | 7,07  | 1,6  | 1,03  |
| 10 | 2   | 22   | 1        | 45,11  | 37,45 | 1,75 | 2,2   |
| 11 | 2   | 21   | 1        | 26,37  | 13,34 | 1,2  | 5,04  |
| 12 | 3   | 22   | 1        | 53,94  | 10,13 | 4,75 | 3,49  |
| 13 | 3   | 22   | 1        | 68,2   | 8,26  | 1,01 | 1,15  |
| 14 | 3   | 25   | 1        | 83,49  | 8,16  | 6,45 | 2,12  |
| 15 | 3   | 22   | 1        | 97,9   | 4,26  | 1,6  | 3,33  |
|    | r   | 0,46 | -        | -0,33  | -0,25 | 0,64 | -0,06 |

La correlación de la percepción de deslumbramiento con el cálculo del mismo lo dividimos en tres etapas:

Por un lado, el deslumbramiento calculado por el índice DGP muestra un valor menor a 0,3 en las 12 oficinas, lo que equivale a una sensación de deslumbramiento “imperceptible”. Sin embargo, la correlación entre DGP y GSV fue de 0,46 mostrando que el DGP se corresponde en un 56% con la respuesta de las personas. Los datos muestran que el umbral entre imperceptible y notable estaría alrededor de 0,2 y no de 0,3. Sin embargo, este es un dato estimativo, ya que para correr los umbrales de la escala se necesita un mayor número de casos y más estudios de validación.



Por otro lado, respecto a las relaciones de luminancias. En el entorno lejano, sólo la oficina 2 estuvo dentro de rango establecido (20:1). La correlación observada entre RL\_L y GSV fue negativa, lo que indica que es un indicador que no representa la sensación de las personas. Por su parte en el entorno inmediato 3 oficinas estuvieron dentro del rango establecido (3:1) la correlación con la respuesta de las personas fue muy baja, siendo un indicador pobre.

Por último, la correlación entre GSV y el porcentaje de píxeles mayores a 2000 del entorno lejano fue de ( $r=0,064$ ;  $p=0,843$ ) mientras que con el entorno inmediato fue de ( $r=0,642$ ;  $p=0,024$ ). De los datos de luminancias reportados podemos finalmente concluir que las relaciones básicas de luminancias no representan la percepción de las escenas relevadas. Sin embargo, se observó que el análisis de luminancias que se encuentran en el campo de visión cercana tuvo una correlación moderada y significativa con la percepción de los usuarios. Datos que sugieren ajustes para el factor de posición o un análisis de la escena reducida.

## Conclusiones

Los resultados muestran que de las 8 métricas empleadas en las 15 oficinas con ingreso de luz natural directa, sólo cuatro métricas fueron descriptivas de las situaciones lumínicas. Estas fueron la iluminancia vertical a los ojos, la uniformidad y el análisis de luminancias altas en el entorno cercano. Es importante destacar que estas métricas utilizadas individualmente no son tan descriptivas como utilizadas en conjunto.

De este trabajo podemos sacar las siguientes conclusiones:

- Iluminancia vertical, es muy útil por su gran simplicidad, ayudando a comprender el estado de adaptación del observador, sin embargo no aporta suficiente información de la escena.

- Luminancia de la escena en el campo de visión cercano es más representativa que en el campo de visión lejano. Las fuentes deslumbrantes que están más cerca de la tarea tienen mayor peso en la sensación de deslumbramiento, mientras que el peso de las fuentes del entorno lejano es mucho menor. Resultados que se confirmaron con los datos de percepción de espacialidad, estos mostraron que el lugar que ocupa la mancha dentro del campo de visión efectivamente afecta la percepción lumínica de los participantes.

- El modelo DGP indica que el umbral para definir una escena como imperceptible es menor 0,3 o 30%. En nuestra muestra se observó que el umbral entre imperceptible y notable estuvo en 0,2. o 20%. Este dato se presenta en forma de aproximación o tendencia ya que se necesitan mayores estudios de validación.

- Por último, las imágenes HDR tienen una gran cantidad de información disponible con gran poder de diagnóstico y que requiere mayor explotación.

## Bibliografía

Boubekri, M., & Boyer, L. L. (1992). Effect of window size and sunlight presence on glare. *Lighting Research and Technology*, 24(2), 69–74. doi:10.1177/096032719202400203

- Boyce, P., Hunter, C., & Howlett, O. (2003). The Benefits of Daylight through Windows Sponsored by : Capturing the Daylight Dividend Program The Benefits of Daylight through Windows. *Exposure*, 1–88.
- Carlucci, S., Causone, F., De Rosa, F., & Pagliano, L. (2015). A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 1016–1033.
- CIE S 008/E. (2000). Lighting of Indoor Work Places. In *CIE Publication Vienna, Austria*. (p. N S 0081/E). JSTOR.
- DiLaura, D. L., Houser, K. W., Mistrick, R. G., & Steffy, G. R. (2010). *The lighting handbook: Reference and application*. Illuminating Engineering Society of North America New York (NY).
- Escuyer, S., & Fontoynt, M. (2001). Lighting controls: a field study of office workers' reactions. *Lighting Research and Technology*, 33(2), 77–94.
- Foster, M., & Oreszczyn, T. (2001). Occupant control of passive systems: the use of venetian blinds. *Building and Environment*, 36(2), 149–155.
- Galasiu, A. D., & Veitch, J. a. (2006). Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: a literature review. *Energy and Buildings*, 38(7), 728–742. doi:10.1016/j.enbuild.2006.03.001
- Hopkinson, R. G. (1971). Glare from windows. *Construction Research and Development Journal*, 2, 95–105.
- Inanici, M. N. (2006). Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system. *Lighting Research and Technology*, 38(2), 123–134.
- Iwata, T., & Tokura, M. (1997). Position Index for a glare source located below the line of vision. *Lighting Research and Technology*, 29(3), 172–178.
- Jakubiec, J. A., & Reinhart, C. F. (2012). The “adaptive zone”--A concept for assessing discomfort glare throughout daylit spaces. *Lighting Research and Technology*, 44(2), 149–170.
- Kumaragurubaran, V., & Inanici, M. (2013). Hdrscope: high dynamic range image processing toolkit for lighting simulations and analysis. In *Proceedings of the BS2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association* (pp. 25–28).
- Lim, H. S., & Kim, G. (2010). Predicted performance of shading devices for healthy visual environment. *Indoor and Built Environment*, 19(4), 486–496.
- Parpairi, K., Baker, N., Steemers, K., & Compagnon, R. (2002). The Luminance Differences index: a new indicator of user preferences in daylit spaces. *Lighting Research and Technology*, 34(1), 53–68. doi:10.1191/1365782802li030oa

- Pattini, A. (2007). *Eficiencia lumínico-térmica de dispositivos de control y difusión de luz solar aplicables a ventanas en aulas, en la provincia de Mendoza. Tesis doctoral*. Universidad Nacional de Tucumán.
- Van Den Wymelenberg, K. (2012). Patterns of occupant interaction with window blinds: A literature review. *Energy and Buildings*, 51, 165–176. doi:10.1016/j.enbuild.2012.05.008
- Van Den Wymelenberg, K., & Inanici, M. (2014). A critical investigation of common lighting design metrics for predicting human visual comfort in offices with daylight. *Leukos*, 10(3), 145–164.
- Van Den Wymelenberg, K., Inanici, M., & Johnson, P. (2010). The effect of luminance distribution patterns on occupant preference in a daylighted office environment. *Leukos*, 7(2), 103–122.
- Webb, A. R. (2006). Considerations for lighting in the built environment: Non-visual effects of light. *Energy and Buildings*, 38(7), 721–727.
- Wienold, J., & Christoffersen, J. (2006). Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. *Energy and Buildings*, 38(7), 743–757. doi:10.1016/j.enbuild.2006.03.017
- Yamin, J., Rodriguez, R. G., Ruiz, A., & Pattini, A. E. (2014). Degree of eye opening: A new discomfort glare indicator. *Building and Environment*.
- Zhang, Y., & Barrett, P. (2012). Factors influencing occupants' blind-control behaviour in a naturally ventilated office building. *Building and Environment*, 54, 137–147.

## **Autores**

Julieta A. Yamin es Diseñadora Industrial, Becario Doctoral CONICET CCT- MENDOZA. [jyamin@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:jyamin@mendoza-conicet.gob.ar).

Elisa M. Colombo es Doctora – Licenciada en Física, Investigadora principal CONICET. [ecolombo@herrera.unt.edu.ar](mailto:ecolombo@herrera.unt.edu.ar).

Roberto G. Rodriguez es Doctor - Diseñador Industrial, Investigador asistente CONICET. [rgrodriguez@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:rgrodriguez@mendoza-conicet.gob.ar).

Andrea E. Pattini es Doctora – Diseñadora Industrial, Investigador principal CONICET. [apattini@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:apattini@mendoza-conicet.gob.ar).